

강우에 따른 적양항과 장포항 육상오염원이 창선해역에 미치는 세균학적 영향평가

하광수* · 유현덕¹ · 심길보 · 김지희 · 이태식² · 김풍호¹ · 이희정 · 유홍식

국립수산과학원 식품안전과, ¹남동해수산연구소, ²남서해수산연구소

The Effects of Inland Pollution Sources around the Port of Jeokyang and Jangpo after Rainfall Events on Bacteriological Water Quality in the Changseon Area, Korea

Kwang Soo Ha*, Hyun Duk Yoo¹, Kil Bo Shim, Ji Hoe Kim, Tae Seek Lee², Poong Ho Kim¹, Hee Jung Lee and Hong Sik Yu

Food Safety Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyoung 650-943, Korea

²Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea

The influences of inland pollution sources near Jeokyang and Jangpo ports following rainfall events on the bacteriological water quality and safety of commercial shellfish were investigated in the Changseon area, Korea. Stream flow rates exhibited 1.9- to 5.7-fold increases after rainfall events and then fell to 68~81% of that level after 24 h. The calculated impact area of inland pollution sources was 0.47 km² in the Jeokyang port area and 0.27 km² in the Jangpo port area at 24 h following 11 mm of rainfall. When the flow rate of inland pollution increased, the level of male-specific bacteriophage (MSB) decreased, and no MSB could be detected in seawater samples, whereas 30 PFU/100 g was detected in shellfish samples. Fecal coliform levels in seawater and shellfish samples did not exceed their respective tolerance levels (4.5 MPN/100 mL) and 130 MPN/100 g, respectively and thus complied with the standard for approved shellfish growing area. The sanitary conditions of areas adjacent to Jeokyang and Jangpo ports under conditions of rainfall below 29 mm met the criteria for approved growing area under the United States National Shellfish Sanitation Program and the EC Regulations.

Key words: Mussel, Fecal coliform, Indicator bacteria, Shellfish growing area, Inland pollution source

서 론

우리나라는 세계 제4위의 패류생산국이며(Pawiro, 2010), 2010년 패류생산량은 440,164 톤으로 수산물 전체 생산량의 14.2%를 차지하는 중요한 식량자원으로 평가받고 있다(MI-FAFF, 2011). 그러나 연안해역에 서식하는 패류는 이동성이 거의 없고, 여과섭이 활동을 통해 영양을 섭취하므로 해수 중에 부유하는 세균, 바이러스, 독성 미세조류, 유독성 물질 및 유해 물질을 농축할 수 있다(Cliver, 1998; Jensen, 1996; Sherwood 1952). 패류는 패각을 제외한 소화기관 및 연체부 전체를 가식

부로 이용한다는 점에서 패류의 안전한 섭취를 위해서는 서식하고 있는 해역에 대한 위생적인 관리가 매우 중요하다(Choi et al., 1998). 패류 섭취를 통해 발생하는 질병은 일반적으로 분변-구강 경로를 통해 전파되고 패류 생산해역의 하수 오염과 질병과의 상관관계는 여러 논문을 통해 보고되었으며, 지표면의 분변은 강우나 태풍 시 하천을 통해 대량으로 해역에 유입된다(Hackney and Potter 1994; Jaykus et al., 1994; Rippey, 1994). 따라서 패류의 위생안전성 확보를 위해서는 해역의 수질에 대한 평가뿐만 아니라 서식해역에 영향을 미칠 수 있는 오염원에 대한 파악 및 평가, 기상요소에 대한 평가 및 오염물질

Article history:

Received 4 January 2013; Revised 4 February 2013; Accepted 6 February 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2642 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: ksha@nfrdi.go.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(2) 160-167, April 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0160>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

의 분산에 영향을 미칠 수 있는 수로학적 요소에 대한 평가가 요구된다(US FDA, 2002). 따라서 우리나라, 미국, 유럽연합 등에서는 안전한 패류생산을 위하여 패류위생관리계획을 수립하여 운영하고 있다(MIFAFF, 2012; US FDA, 2009; European Commission, 2004).

창선해역은 경남 남해군 창선도의 동쪽에 위치하고 있으며, 주로 진주담치와 피조개 양식이 이루어지고 있다. 이 해역에서 생산되는 패류의 수출지원을 위하여 국립수산물시험원에서는 1996년부터 위생조사를 실시하고 있으며, 조사해역 중 5,910 ha가 수출용 패류생산 지정해역(이하 지정해역) 제6호로 설정되어 있다(농림수산물식품부고시 제2009-416호, 2009. 12. 16). 또한 생산패류의 위생학적 안전성 확보를 위하여 채취 전 강우량이 1일 15-22 mm 범위일 때에는 2일 동안, 22 mm를 초과한 경우에는 7일 동안 패류 채취를 금지하고 있다(MIFAFF, 2012). 우리나라에서 관리하고 있는 7개소의 지정해역에 대한 최근 연구결과에 따르면 미국과 유럽연합의 패류생산해역 위생기준 및 우리나라 지정해역 위생관리기준에 적합한 위생상태를 나타내었다. 그러나 조사 전 많은 양의 강우가 발생한 경우에는 지정해역의 해수 및 생산패류에서 분변계대장균의 검출이 높아지는 경향을 나타내었다(Kwon et al., 2008; Shim et al., 2009; Ha et al., 2009; Park et al., 2010; Yoo et al., 2010). 최근 우리나라도 패류 수확기인 10월에서 익년 5월 사이에 집중강우가 발생하는 빈도가 증가하고 있으나, 강우 시에 발생하는 오염원의 유입에 따른 해역영향 평가 및 해수와 생산패류에 대한 안전성에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 창선면 인근 진주담치 양식장이 밀집해 있고 비교적 큰 규모의 마을이 형성되어 있는 적양항과 장포항에 인접한 창선해역에 대하여 강우량에 따른 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였으며, 또한 육상오염원 인근 해역의 해수 및 진주담치의 위생학적 변화를 비교하여 강우 계급별과 경과시간에 따른 패류생산 해역의 위생학적 안전성을 평가하였다.

재료 및 방법

조사지점 및 기간 선정

창선면 적양항과 장포항 인근 해역의 수역면적은 약 14 km²이고, 해역에 면하고 있는 배수유역의 총 면적은 약 6 km²이다. 건기 및 강우 시 주요육상오염원 조사지점의 선정은 적양항과 장포항 배수유역에 분포하는 직접적인 오염원 중 인구가 밀집해 있고 담수 유량이 많은 소하천으로 강우 시 해역에 미치는 영향이 클 것으로 판단되는 4개 지점을 선정하였다. 창선해역내 해수 및 진주담치 조사지점은 적양항과 장포항을 중심으로 10개 및 3개 조사지점을 선정하여 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다(Fig. 1).

창선면 인근 육상오염원 배출수, 해수 및 진주담치에 대한 강우영향 및 위생학적 안전성 평가를 위한 건기조사는 2010년 3

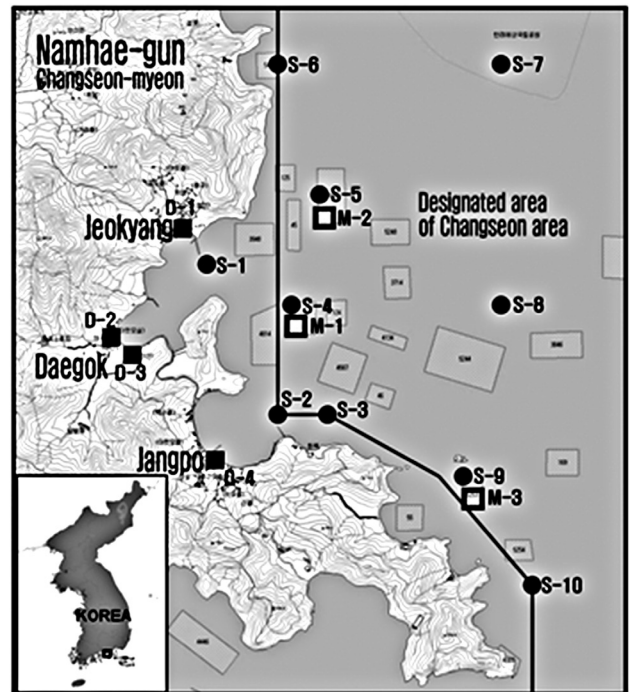


Fig. 1. Sampling stations in the Changseon area.

■; Fresh water sampling station, ●; Sea water sampling station, □; Mussel sampling station, - -; Designated area, ▨; Mussel culture ground

월 10일에 실시하였다. 강우량 11 mm에 대한 강우조사 시료는 2010년 10월 8일 17시부터 9일 05시까지 누적 강우량 11 mm가 내린 직후인 9일과 24시간이 경과한 10일 오전에 채취하였다. 15 mm 강우에 대한 강우조사는 2010년 3월 22일 17시부터 23일 10시까지 강우 후 23일과 24일에 실시하였으며, 29 mm 강우에 대한 강우조사는 2010년 4월 19일 19시부터 4월 20일 06시까지 누적 강우량 29 mm가 내린 직후인 20일 및 21일 오전에 채취하였다.

수온, 염분, 유량 측정 및 시료채취

육상오염원의 유량은 소하천의 최종 방류구에서 유속계(Marsh-McBirney portable flowmeter, Flo-Mate Model 2000)를 사용하여 측정하고 계산하였다. 위생지표세균 시험용 하천수와 해수는 멸균된 250 mL 유리병에 채취하였고, 해수는 지정된 조사지점에서 표층용 채수기를 사용하여 채수하였으며, 해수의 수온과 염분은 YSI 556 multiprobe system (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA)을 사용하여 현장에서 측정하였다. 진주담치는 수하연의 상층, 중층, 하층의 각 1개 부작기를 채취하여 멸균한 황동술로 부착물 등을 제거한 후 물기를 제거하였으며, 모든 시료는 10℃ 이하로 유지하여 실험실로 운반한 즉시 위생지표세균 분석을 실시하였다. 조사 전 강우량은 기상청의 남해관측소 자료를 활용하였다.

위생지표세균 분석

시료 중 대장균군, 분변계대장균 및 생균수 시험은 Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish (APHA, 1970)의 방법에 따라 시험하였다. 대장균군 및 분변계대장균은 최확수법으로 시험하였으며, 결과는 100 mL 또는 100 g 당 MPN으로 나타내었고 생균수는 g당 Colony Forming Unit (CFU)으로 나타내었다. 하천수 및 해수 중의 Male Specific Bacteriophage (MSB) 분석은 DeBartolomeis 와 Cabelli (1991)법 그리고 진주담치에 오염된 MSB는 Burkhardt 등(1992)의 방법에 준하였으며, MSB 숙주세포로는 *Escherichia coli* HS(pFamp)R (ATCC 700891)을 사용하여 100 mL 또는 100 g 중의 Plaque Forming Unit (PFU)으로 나타내었다.

육상오염원 영향평가

해역으로 직접 유입되는 육상오염원에 대한 해역 영향평가는 US FDA에서 제안한 Evaluation of pollution source (Advanced Growing Area Training - evaluation of pollution sources, 2006)에 준하여 실시하였다. 각 오염원에 대한 유량과 분변계대장균수를 이용하여 하루 동안 해역으로 유입되는 분변계대장균수의 1일 부하량을 산출하였으며, 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위는 지정해역 수질기준인 분변계대장균 14 MPN/100 mL 이하로 희석되는데 요구되는 해수의 부피, 면적, 영향반경으로 계산하였다. 적용된 수심은 해도를 활용하여 영향범위가 미치는 해역의 최저수심을 적용하였고 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위는 영향반경과 면적으로 평가하였다.

Table 1. The variation of average temperature and salinity for sea water in rainfall events

	Dry season (3.10)		11 mm rainfall (10.8~9)		15 mm rainfall (3.22~23)		29 mm rainfall (4.19~20)	
	0 h		0 h		24 h		0 h	
	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h
Temperature (°C)	9.1	21.3	20.9	9.7	9.8	13.2	12.5	
Salinity (psu)	33.6	31.0	31.1	33.1	33.1	33.0	33.0	

Table 2. Result of sanitary survey on pollution sources in the drainage basin of Changseon area and the calculated impacted area in the sea during dry weather condition

Station	Average depth (m)	Discharge volume (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Determined loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Residue of half-circle (m)	Male specific bacteriophage (PFU/100 mL)
D-1	1	24	11,000	3.8×10 ⁹	2.7×10 ⁴	2.7×10 ⁴	132	950
D-2	1	36	13,000	6.7×10 ⁹	4.8×10 ⁴	4.8×10 ⁴	175	3,480
D-3	1	39	22	1.1×10 ⁷	8.1×10	8.1×10	7	<10
D-4	1	24	2,400	8.2×10 ⁸	5.9×10 ³	5.9×10 ³	61	950

결과 및 고찰

해수의 일반성상

강우량에 따른 창선해역 해수의 평균수온과 평균염분을 Table 1에 나타내었다. 해수의 평균수온은 건기 및 강우 15 mm 조사가 이루어진 3월에는 9.1-9.8°C, 강우 29 mm 조사가 있었던 4월에는 12.5-13.2°C였고, 강우 11 mm 조사가 실시된 10월에는 20.9-21.3°C를 나타내었다. 본 조사의 평균수온은 2008-2010년 창선해역의 월별 평균수온과 유사하였으며(Kim et al., 2011), 계절적인 수온변화와 동일한 경향을 나타내었다. 또한 해수의 평균염분은 건기(조사 전 강우가 없었던 시기), 강우 15 mm 및 29 mm 조사에서는 33.0-33.6 psu를 나타내어 해역의 일반적인 염분농도와 유사하였으나, 강우 11 mm 조사에서는 31.0-31.1 psu로 낮은 염분농도를 나타내었다. 그러나 해수의 평균염분은 건기보다 강우조사 시에 0.5-2.6 psu 정도 감소하였다. 한산만과 자란만에 대한 세균학적 조사에서도 강우 시 육상오염원의 유입에 따라 해수 중의 염분 농도는 감소하며, 위생지표세균은 증가하는 역상관 관계를 나타내었다(Lee et al., 2010).

강우량에 따른 육상오염원의 영향평가

강우에 따른 창선해역 육상오염원의 영향평가를 위하여 건기 및 강우 직후와 24시간 경과 후에 적양마을 소하천(D-1), 대곡천(D-2), 질골천(D-3), 장포마을 소하천(D-4)의 하류 배출구에 위치한 4개 지점의 배출수에 대한 유량을 측정하고 대장균군, 분변계대장균 및 MSB의 오염정도를 시험하였다.

건기조사 결과는 Table 2에 나타내었다. 배출수량은 24-39 L/min 범위였으며, 질골천의 배출수량이 39 L/min로 가장 많았으나 분변계대장균수는 22 MPN/100 mL로 가장 낮아, 해역에 미치는 영향반경은 7 m로 매우 적었고 MSB는 검출되지 않았다. 대곡천과 적양마을 및 장포마을 소하천의 분변계대장균은 2,400-13,000 MPN/100 mL로 높았으며, 해역 영향반경은 61-175 m로 계산되었다. 특히 MSB의 검출은 950-3,480 PFU/100 mL으로 강우조사 시 보다 매우 높게 나타났다.

강우 11 mm 종료 직후 조사결과는 Table 3 및 Fig. 2 (A, B)에 나타내었다. 배출수량은 14-120 L/min 범위였고 특히, 대곡천과 장포마을 소하천의 배출수량이 70 및 120 L/min으로 중

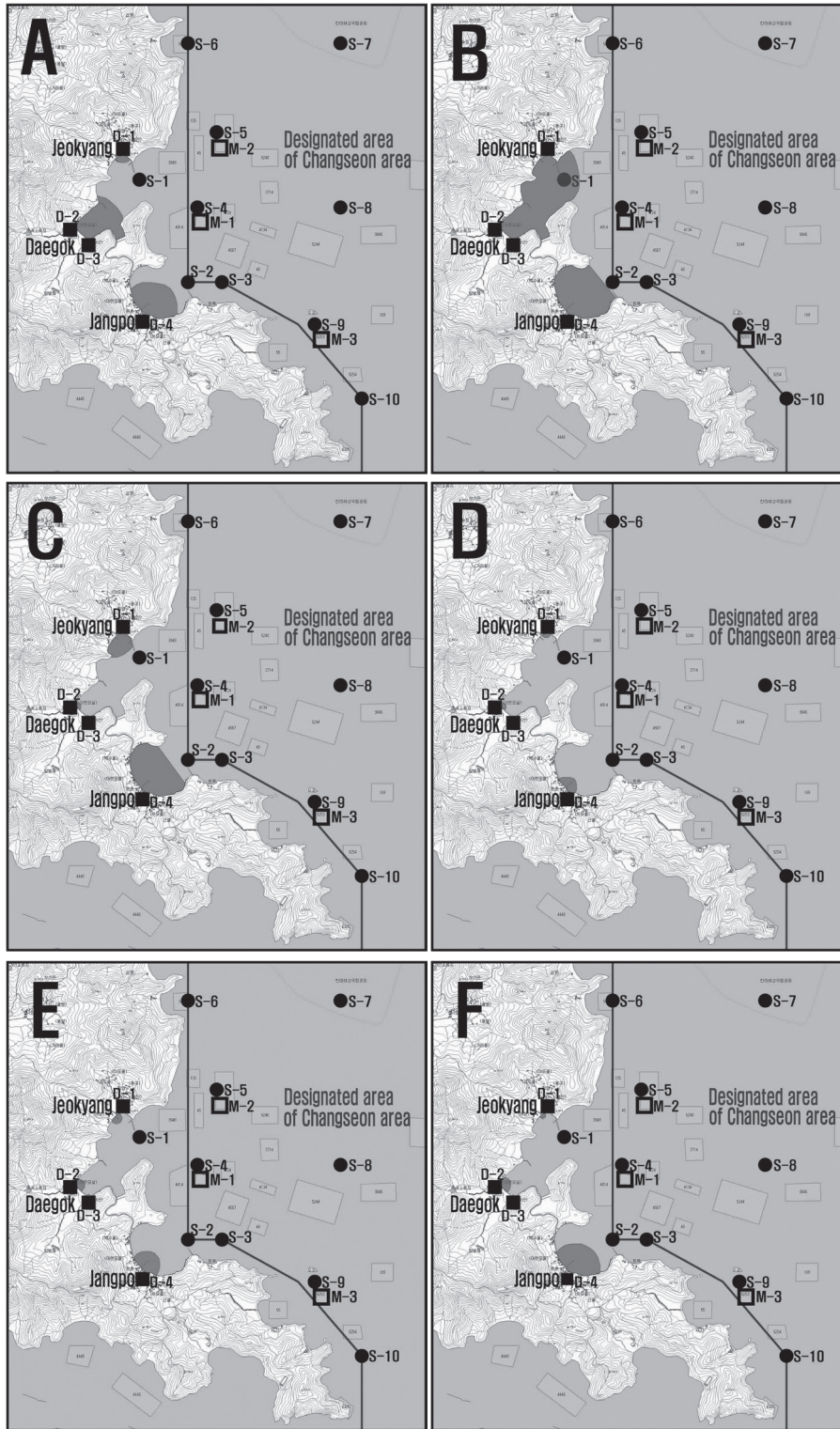


Fig. 2. Concentration of fresh water from the drainage basin and the calculated impacted area of each pollution sources in the Changseon area during wet weather conditions (A; Just after 11 mm rainfall, B; 24 hours after 11 mm rainfall, C; Just after 15 mm rainfall, D; 24 hours after 15 mm rainfall, E; Just after 29 mm rainfall, F; 24 hours after 29 mm rainfall). ■; Fresh water sampling station, ●; Sea water sampling station, □; Mussel sampling station, □; Designated area, ■; Calculated impacted area, ▨; Mussel culture ground.

Table 3. Result of sanitary survey on pollution sources in the drainage basin of Changseon area and the calculated impacted area in the sea during wet weather condition

Rainfall Amount (mm)	Time (hrs.)	Station	Average depth (m)	Discharge volume (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Determined loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Residue of half-circle (m)	Male specific bacteriophage (PFU/100 mL)	
11	0	D-1	1	14	7,900	1.5×10 ⁹	1.1×10 ⁴	1.1×10 ⁴	85	40	
		D-2	1	70	24,000	2.4×10 ¹⁰	1.7×10 ⁵	1.7×10 ⁵	332	890	
		D-3	1	39	170	9.5×10 ⁷	6.8×10 ²	6.8×10 ²	21	<10	
		D-2 to 3	1	-	-	2.4×10 ¹⁰	1.7×10 ⁵	1.7×10 ⁵	332	-	
	D-4	1.5	120	17,000	2.9×10 ¹⁰	2.0×10 ⁵	1.3×10 ⁵	298	190		
	24	D-1	1	13	4,900	9.1×10 ⁸	6.5×10 ³	6.5×10 ³	65	820	
		D-2	4	56	330,000	2.6×10 ¹¹	1.9×10 ⁶	4.7×10 ⁵	550	220	
		D-3	1	30	110	4.7×10 ⁷	3.3×10 ²	3.3×10 ²	15	<10	
		D-2 to 3	4	-	-	2.6×10 ¹¹	1.9×10 ⁶	4.7×10 ⁵	551	-	
	D-4	3	100	79,000	1.1×10 ¹¹	8.1×10 ⁵	2.7×10 ⁵	415	300		
	15	0	D-1	1	40	14,000	8.0×10 ⁹	5.7×10 ⁴	5.7×10 ⁴	192	50
			D-2	1	174	170	4.2×10 ⁸	3.0×10 ³	3.0×10 ³	44	<10
D-3			1	51	7.0	5.1×10 ⁶	3.7×10	3.7×10	5	<10	
D-4			3	169	35,000	8.5×10 ¹⁰	6.0×10 ⁵	2.0×10 ⁵	359	<10	
24		D-1	1	21	1,300	3.9×10 ⁸	2.8×10 ³	2.8×10 ³	42	<10	
		D-2	1	123	170	3.0×10 ⁸	2.1×10 ³	2.1×10 ³	37	<10	
		D-3	1	32	4.5	2.0×10 ⁶	1.5×10	1.5×10	3	<10	
		D-4	1	120	2,200	3.8×10 ⁹	2.7×10 ⁴	2.7×10 ⁴	132	<10	
29	0	D-1	1	54	1,100	8.5×10 ⁸	6.1×10 ³	6.1×10 ³	62	<10	
		D-2	1	372	220	1.1×10 ⁹	8.4×10 ³	8.1×10 ³	73	<10	
		D-3	1	49	49	3.4×10 ⁷	2.4×10 ²	2.4×10 ²	13	<10	
		D-4	1	228	3,300	1.0×10 ¹⁰	7.7×10 ⁴	7.7×10 ⁴	222	<10	
	24	D-1	1	30	330	1.4×10 ⁸	1.0×10 ³	1.0×10 ³	25	<10	
		D-2	1	257	330	1.2×10 ⁹	8.7×10 ³	8.7×10 ³	75	10	
		D-3	1	42	22	1.3×10 ⁷	9.5×10	9.5×10	8	<10	
		D-4	1.5	174	7,900	1.9×10 ¹⁰	1.4×10 ⁵	9.4×10 ⁴	245	<10	

가하였으며, 분변계대장균은 각각 24,000 및 17,000 MPN/100 mL로 높게 나타나 해역 영향반경도 332 및 298 m로 크게 증가된 것으로 계산되었다. 하지만 MSB의 검출은 890 및 190 PFU/100 mL로 전기 조사 시 보다 감소하였다. 24시간 경과 후 조사결과에서 유량은 전 지점에서 소량 감소하였으나, 분변계대장균은 대곡천(330,000 MPN/100 mL)과 장포마을 소하천(79,000 MPN/100 mL)의 경우 크게 증가하여 해역에 미치는 영향반경이 550 및 415 m로 계산되었고 면적으로 나타난 결과, 0.47 km² 및 0.27 km²로 확산되어 지정해역 경계선에 인접한 지역까지 영향을 미치는 것으로 나타났다.

강우 15 mm 종료 직후 조사결과는 Table 3 및 Fig. 2 (C, D)에 나타내었다. 배출수량은 40-174 L/min 범위였으며, 11 mm 강우 직후와 비교하면 적양마을 소하천은 유량이 증가하였고, 장포마을 소하천은 분변계대장균수가 높아져 해역 영향반경이 192, 359 m로 증가된 것으로 계산되었다. 그러나 11 mm 강우 24시간 조사 시 보다는 해역 영향이 크지 않아 지정해역까지는 영향이 확산되지 않은 것으로 나타났다. MSB는 적양마을 소하천에서만 50 PFU/100 mL가 검출되었다. 24시간 경과 후에는 유량이 감소하였고 특히 분변계대장균의 검출이 줄어 해역에 미치는 영향은 더욱 줄어든 것으로 나타났다.

강우 29 mm 종료 직후 조사결과는 Table 3 및 Fig. 2 (E, F)에 나타내었다. 배출수량은 49-372 L/min 범위로 전체 조사가

간 중 가장 많았으나, 분변계대장균수 49-3,300 MPN/100 mL로 강우 직후 실시한 다른 조사보다는 매우 낮게 나타났다. 따라서 계산된 육상오염원의 해역 영향범위도 13-222 m로 적었다. 24시간 경과 후 유량은 전 지점에서 감소하였으나, 장포마을 소하천의 분변계대장균수는 7,900 MPN/100 mL로 증가하여 해역 영향범위도 245 m로 강우 직후보다 확산되었다. MSB는 대곡마을 소하천에서만 10 PFU/100 mL로 낮은 함량을 나타내었다.

연안해역에서 조석변화는 위생지표세균의 확산에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 창조 시에는 육상에서 유입된 오염원을 해안으로 밀어 분산시키고 낙조 시에는 오염원을 만 내부로 끌어내는 효과를 나타낸다(Mallin et al., 1999). 한산-거제만해역의 강우 직후 및 24시간 후의 해수시료는 최저조에서 채취하고 18시간 후의 시료는 고조에서 채취하였는데, 24시간 후 조사에서는 해안에 인접한 지점에서는 분변계대장균수가 적었으나, 멀리 떨어진 해수에서 분변계대장균이 높게 검출되어 조석도 영향을 끼치는 것으로 판단하였다(Lee et al. 2010). 그러나 본 연구에서도 다양한 조석에서 시료가 채취되었으나 조석에 따른 영향은 확인하기 어려웠으며(결과 미제시), 이는 적양항과 장포항 입구에 약 160-250 m규모의 방파제가 설치되어 있고 수로가 80 m, 200 m에 불과하여 조석의 변화에 따른 해수 흐름이 원활하지 못하였기 때문으로 판단된다.

강우 직후 조사에서 건기보다 육상오염원의 배출수량은 1.9-5.7배 정도 증가하였으며, 강우 24시간 후에는 강우 직후보다 68-81% 정도의 배출수량이 감소한 것으로 나타났다. 분변계대장균수는 조사지점별로 강우량과 강우시기에 따라 값의 변화가 있었으나 유량이 증가할수록 지속적으로 감소하는 경향이 확인되었다. 특히 MSB는 절골천을 제외한 전체 지점에서 건기와 11 mm 강우조사에서는 높게 검출되었으나, 15 mm 강우조사에서는 급격히 감소하였고, 29 mm 강우조사에서는 전혀 검출되지 않았다. MSB는 장관계바이러스와 크기, 형태 및 환경 중 행동양상이 유사하고 신속, 간편하게 검출이 가능하며, 패류 중에서도 7일간 생존이 가능한 것으로 알려져 하수처리장의 효율성 평가를 위한 연구의 지표미생물로 사용된다(Burkhardt et al., 1992).

해역에 미치는 영향반경 계산결과, 강우가 많을수록 유량은 증가하였으나 분변계대장균수가 현저히 감소하여 해역에 미치는 영향범위는 오히려 축소되었다. 또한 시간의 경과에 따른 분변계대장균수의 변화와 해역에 미치는 영향관계를 살펴보면, 11 mm 강우 후에는 24시간 경과 시 분변계대장균이 지점에 따라 증가 또는 적은 감소를 보여 해역영향 범위가 확대되었으나, 15 mm 및 29 mm 강우에서는 강우 직후와 24시간 경과 후에 분변계대장균수가 약 1 log 감소하여 해역에 미치는 영향이 시간의 경과에 따라 축소되는 것으로 확인되었다. 거제만해역에 대한 건-우기 육상오염원의 영향평가에 관한 연구에서도 강우량의 증가에 따라 배출수량이 24% 증가하여 해역으로 유입되었으나, 강우량이 많았던 21 mm보다 15 mm 강우 시에 육상오염원의 영향이 더 크게 나타났으며, 이는 유량은 21 mm 강우 시 더 많았으나 분변계대장균의 함량이 낮았기 때문으로 보고하였다(Ha et al., 2011).

상류 배수유역에 거주민구가 적고 주로 농지로 이루어진 절골천은 조사기간 동안 분변계대장균의 함량은 낮았고 MSB는 전혀 검출되지 않았으나, 대곡마을 중심부를 관통하여 흐르는 대곡천의 경우 건기 및 11 mm 강우 시에 분변계대장균 및 MSB

의 함량이 가장 높았다. 이처럼 오염정도가 높은 하천의 경우, 하구 유입구부터 본류로 유입되는 지류에 대한 위생지표세균의 미생물학적, 유전학적 분석을 통해 오염원의 원인을 파악하는 Microbial Source Tracking (MST)에 관한 연구가 널리 이루어지고 있으며(Shehane et al., 2005), 해역에 인접한 마을의 경우 생활하수의 하천 유입을 차단하기 위해서는 소규모 마을단위 하수처리장의 신설이 요구된다.

건기 및 강우 시 해수의 세균학적 변화

강우에 따른 창선해역 수질의 위생학적 영향에 대한 시험결과를 Table 4에 나타내었다. 적양마을과 장포마을 소하천으로부터 0.4-2.6 km 떨어진 거리에 10개소의 조사지점을 설정하여 창선해역으로 확산되는 위생지표세균의 오염정도를 평가하였다.

건기조사 및 11 mm 강우 직후 해역조사지점에서는 분변계대장균 및 MSB는 전혀 검출되지 않았다. 그러나 24시간 경과 후에는 적양마을에서 각각 0.4 및 1.1 km 떨어진 S-1과 S-5 지점에서 분변계대장균은 2.0 MPN/100 mL로 나타났으며, 이는 적양마을 소하천과 대곡천 및 절골천의 육상오염원 영향이 높아졌기 때문으로 판단된다. 강우 15 mm 직후에는 S-5 지점의 분변계대장균이 4.5 MPN/100 mL로 높아졌으며, 24시간이 경과한 후에는 S-4 지점의 분변계대장균이 4.0 MPN/100 mL 검출되어 두 지점 모두 진주담치 어장이 위치한 지점에서 분변계대장균이 검출되었다. 강우 29 mm 직후 조사에서는 육상오염원과는 거리가 먼 S-7 지점의 분변계대장균이 2.0 MPN/100 mL로 검출되었으며, 24시간이 경과한 후에는 적양마을 소하천 인근 S-1 지점의 분변계대장균이 2.0 MPN/100 mL로 나타났다. 조사기간 동안 MSB는 전체 해수조사지점에서 검출되지 않았다.

해수의 세균학적 수질에 미치는 강우의 영향평가 결과, 건기조사 및 강우 11 mm 직후 조사에서는 분변계대장균 및 MSB

Table 4. Result of microbiological analysis for sea water samples in the Changseon area under the dry and wet weather condition

Station	Dry season		11 mm rainfall				15 mm rainfall				29 mm rainfall			
			0 h		24 h		0 h		24 h		0 h		24 h	
	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²
S-1	<1.8	<10	<1.8	<10	2.0	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	2.0	<10
S-2	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-3	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-4	<1.8	<10	<1.8	<10	2.0	<10	<1.8	<10	4.0	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-5	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	4.5	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-6	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-7	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	2.0	<10	<1.8	<10
S-8	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-9	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10
S-10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10	<1.8	<10

¹MPN/100 mL, ²PFU/100 mL.

Table 5. Result of microbiological analysis for blue mussel samples in the Changseon area under the wet weather condition

Station	Dry season		11 mm rainfall				15 mm rainfall				29 mm rainfall			
			0 h		24 h		0 h		24 h		0 h		24 h	
	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²	Fecal coliform ¹	MSB ²
M-1	<18	<10	20	<10	<18	<10	110	30	78	15	<18	<10	130	14
M-2	<18	<10	<18	<10	20	<10	20	<10	<18	<10	<18	<10	40	14
M-3	<18	<10	20	20	20	<10	40	21	<18	<10	<18	<10	40	<10

¹MPN/100 mL, ²PFU/100 mL.

는 검출되지 않았으며, 11 mm 강우 24시간 경과 및 15 mm, 29 mm 조사에서는 조사지점 1개소 또는 2개소의 분변계대장균이 2.0-4.5 MPN/100 mL로 나타나 강우 후 해수의 영향은 크지 않았으나 적양항에 0.4 km 인접한 S-1 지점과 적양항과 장포항에서 1 km 이내에 위치한 패류양식장 S-4 및 S-5 지점의 분변계대장균이 증가하였다. 이상의 결과, 육상오염원의 해역영향반경과 해수시료의 세균학적 평가결과와의 차이는 위생지표세균이 해수와 혼합하게 되면 수온, 염분농도, 태양광, 침전 등의 환경조건에 따라 사멸하기 때문에 사료된다(Shim et al., 2012).

한산-거제만해역과 득량만 패류양식장에 대한 세균학적 안전성 평가에서 조사 하루 전이나 당일 새벽까지 내린 강우가 2일이나 3일 전에 내린 강우보다 지정해역의 안전성에 더 큰 영향을 미치며, 또한 해역의 수질은 강우량뿐만 아니라 강우시간 경과에도 영향을 받는다(Chang et al., 1998; Ha et al., 2009). 또한 가막만해역의 수질은 강우 후 24-48시간 경과한 후, 평소의 수질로 회복된 것으로 보고하였다(Park, 1990). 창선해역도 강우에 의한 영향이 크지는 않았지만 24시간 조사에서도 분변계대장균은 지속적으로 검출이 되었다. 또한 창선해역의 위생학적 안전성에 관한 연구에서도 시료채취 전날 45.5 mm의 강우가 있었던 2008년 6월 조사에서는 창선면에 인접한 조사지점에서는 분변계대장균이 지정해역 해수 기준을 초과하지 않은 것으로 확인되었다(Yoo et al., 2010). 따라서 29 mm이하의 강우는 창선면 적양항 및 장포항에 인접한 해역의 수질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

건기 및 강우 시 진주담치의 세균학적 변화

강우에 따른 육상오염원의 증가가 해역에서 생산되는 진주담치의 위생학적 안전성에 미치는 영향을 Table 5에 나타내었다. 적양마을과 장포마을 소하천으로부터 1-2 km 떨어진 지정해역 내부에 3개소(M-1, M-2, M-3)의 패류 조사지점을 설정하여 창선해역으로 확산되는 위생지표세균의 오염정도를 평가하였다.

건기조사 시 패류에서 위생지표세균의 검출은 없었으나, 11 mm 강우 후에는 <18-20 MPN/100 g으로 낮은 함량의 분변계대장균이 검출되었다. 15 mm 강우 직후에는 적양 및 장포마을 소하천과 가장 인접한 M-1 지점의 패류에서 분변계대장균은 110 MPN/100 g 그리고 MSB는 30 PFU/100 g가 검출되어 비교적 높은 세균함량이 확인되었다. 24시간이 경과

한 후에는 M-1 지점의 분변계대장균은 78 MPN/100 g, MSB는 15 PFU/100 g로 다소 감소하는 경향을 나타내었다. M-2 및 M-3 지점에서도 강우 직후 분변계대장균은 각각 20 및 40 MPN/100 g이 검출되었으나 24시간이 경과한 후에는 위생지표 세균은 검출되지 않았다.

29 mm 강우 직후에는 패류시료에서 세균검출이 없었으나, 24 시간이 경과한 후에는 M-1 지점의 분변계대장균이 130 MPN/100 g으로 전체 조사기간 중 가장 높은 함량을 나타내었으며, MSB는 14 PFU/100 g가 검출되었다. M-2 및 M-3 지점의 분변계대장균은 모두 40 MPN/100 g이 검출되었으며, MSB는 M-2 지점에서만 14 PFU/100 g가 검출되었다. 조사기간 중 패류시료의 생균수는 건기 시 80-400 CFU/100 g이었고, 29 mm 강우 24시간 경과 후에는 260-1,300 CFU/100 g으로 강우에 따라 증가하는 경향을 나타내었다(결과 미제시).

창선해역의 진주담치에 대한 세균학적조사 결과, 건기 및 강우 시에 패류의 분변계대장균 기준(230 MPN/100 g)을 초과하지 않았다. 11 mm 강우 후에는 <18-20 MPN/100 g을 유지하였으며, 15 mm 강우 직후에는 20-110 MPN/100 g이었고, 24시간 경과 후에는 <18-78 MPN/100 g으로 감소하였다. 하지만 29 mm 강우 직후에는 분변계대장균이 검출되지 않았지만 24시간 경과 후에는 40-130 MPN/100 g으로 증가하였으며, 이러한 결과는 육상오염원의 영향평가 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 해수는 외해수와의 조류 소통으로 쉽게 오염정도가 낮아지지만, 패류는 시간의 경과에 따라 해수에 포함된 세균을 축적하였기 때문이라 사료된다. 또한 Lee et al. (2010)도 해역에 서식하는 굴에서 분변계대장균의 수는 강우 직후보다 그 이후 채취한 시료에서 높게 검출되었다고 보고한 바 있다. 따라서 해역에서 생산되는 패류의 위생학적 안전성을 확보하기 위해서는 육상오염원의 영향평가, 해수 및 패류에 대한 종합적인 분석과 평가가 요구된다.

창선해역에서 건기, 11 mm, 15 mm 및 29 mm 강우 시, 육상오염원에 대한 해역영향 및 해수와 패류의 위생학적 안전성 평가결과, 우리나라의 지정해역 관리기준, 미국의 해역기준 및 유럽연합의 패류 안전성 기준을 모두 만족하는 위생상태를 나타내었다. 그러나 현재 한국패류위생계획에 설정되어있는 강우 시 패류채취 금지기간의 조건 완화를 위해서는 다양한 강우계급에 대한 반복적인 조사와 육상오염원의 이동경로를 확인하는 수로학적 조사 등이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 (수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, RP-2012-FS-013)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- APHA. 1970. Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish, 4th ed., American Public Health Association, Washington, DC, USA, 1-47.
- Burkhardt W 3rd, Watkins WD and Rippey SR. 1992. Survival and replication of male-specific bacteriophages in molluscan shellfish. *Appl Environ Microbiol* 58, 1371-1373.
- Chang DS, Jeong ET, Yu HS, Lee EW and Lim SM. 1998. Bacteriological quality of sea water in Deukryang Bay, Korea. *J Kor Fish Soc* 31, 77-81.
- Choi JD, Jeong WG and Kim PH. 1998. Bacteriological study of sea water and oyster in Charan Bay, Korea. *J Kor Fish Soc* 31, 429-436.
- Clover DO. 1988. Virus transmission via foods. *Food Technol* 42, 241-248.
- DeBartolomeis J and Cabelli VJ. 1991. Evaluation of an *Escherichia coli* of F male-specific bacteriophages. *Appl Environ Microbiol* 57, 1301-1305.
- European Commission. 2004. Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific rules for the organization of official controls on products of animal origin intended for human consumption. *Off J Eur Communities L155*, 206-321.
- Hackney CR and Potter ME. 1994. Animal-associated and terrestrial bacterial pathogens. In: *Environmental Indicators and Shellfish Safety*. Hackney CR and Pierson MD, eds. Chapman and Hall, New York, USA, 172-209.
- Ha KS, Shim KB, Yoo HD, Kim JH and Lee TS. 2009. Evaluation of the bacteriological safety for the shellfish growing area in Hansan-Geojeman, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 449-455.
- Ha KS, Yoo HD, Shim KB, Kim JH, Lee TS, Kim PH, Ju JY and Lee HJ. 2011. Evaluation of the influence of inland pollution sources on shellfish growing area after rainfall events in Geoje bay, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 612-621.
- Jaykus LA, Mary TH and Mark DS. 1994. Human Enteric Pathogenic Viruses. In: *Environmental Indicators and Shellfish Safety*. Hackney CR and Pierson MD, eds. Chapman and Hall, New York, USA, 289-330.
- Kim JH, Yoo HD, Ha KS, Shim KB, Kim PH, Lee HJ Lee TS and Cho GC. 2011. 2008~2010 Sanitary survey of shellfish area in Changseon area. *Southeast Sea Fisheries Research Institute*, 61-62.
- Kwon JY, Park KBW, Song KC, Lee HJ, Park JH, Kim JD and Son KT. 2008. Evaluation of the bacteriological quality of a shellfish-growing area in Kamak Bay, Korea. *J Fish Sci Technol* 11, 7-14.
- Lee TS, Oh EG, Yoo HD, Ha KS, Yu HS, Byun HS and Kim JH. 2010. Impact of rainfall events on the bacteriological water quality of the shellfish growing area in Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 406-414.
- Mallin MA, Esham EC, Williams KE and Nearhoof JE. 1999. Tidal stage variability of fecal coliform and chlorophyll a concentrations in coastal creeks. *Mar Pollut Bull* 38, 414-422.
- MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2011. Fisheries information service. Retrieved from <http://www.fips.go.kr/> on September 10, 2012.
- MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2012. Korean Shellfish Sanitation Program, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.
- Park JH. 1990. Bacteriological quality study of sea water and oyster in association with rainfall in Kamakman. M.S. Thesis. National Fish Univ of Pusan. Pusan, Korea, 13-25.
- Park KBW, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS and Lee HJ. 2010. Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in Gangjinman, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 614-622.
- Pawiro S. 2010. Bivalves: Global production and trade trends. In: *Safe Management of Shellfish and Harvest Waters*. Rees G, Pond K, Kay D, Bartram J and Santo Domingo J, eds. IWA publishing, London, UK.
- Rippey S. 1994. Infectious diseases associated with molluscan shellfish consumption. *Clinical Micro Rev*. 7, 419-425.
- Shehane SD, Harwood VJ, Whitlock JE and Rose JB. 2005. The influence of rainfall on the incidence of microbial faecal indicators and the dominant sources of faecal pollution in a Florida river. *Journal of Applied Microbiology* 98, 1127-1136.
- Sherwood HP. 1952. Some observations of the viability of sewage bacteria in relation to self-purification of mussels. *Proceeding of Soc for Appl Bact* 15, 21-28.
- Shim KB, Ha KS, Yoo HD, Kim JH and Lee TS. 2009. Evaluation of the bacteriological safety for the shellfish growing area in Jaranman-Saryangdo area, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 442-448.
- Shim KB, Ha KS, Yoo HD, Lee TS and Kim JH. 2012. Impact of pollution sources on the bacteriological water quality in the Yongnam-Gwangdo shellfish growing area of western Jinhae bay, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 45, 561-569.
- US FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2002. NSSP Guidance Document, Sanitary Survey and the Classification of Growing Waters. ISSC/FDA.
- US FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2009. National Shellfish Sanitation Program, Guide for the control of molluscan shellfish, Model ordinance. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/Seafood/FederalStatePrograms/NationalShellfishSanitationProgram/default.htm> on September 10, 2012.
- Yoo HD, Ha KS, Shim KB, Kang JY, Lee TS and Kim JH. 2010. Microbiological quality of the shellfish-growing waters and mussels in Changseon, Namhae, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 298-306.